

La universidad en el sistema de innovación. Estudio de caso sobre el vínculo universidad- industria biotecnológica en Cuba

CARLOS ÁLVAREZ VALCÁRCEL
MARÍA ELIANA LANIO RUIZ
JORGE NÚÑEZ JOVER
ROLANDO PÉREZ ÁLVAREZ

Introducción

Este artículo se vincula a dos temas de significativa importancia, muy enlazados entre sí. Uno es el tema de las relaciones entre organizaciones públicas de investigación e industria y otro, la función de las universidades en el desarrollo económico y social. Esta contribución se relaciona también con una cuestión práctica: las transformaciones que tienen lugar hoy en la política de ciencia, tecnología e innovación (PCTI) en Cuba; en particular, el debate sobre el papel de las universidades en esa política.

Estos temas de amplio interés son examinados en este artículo a través de un estudio de caso que describe y analiza la vinculación entre el Centro de Estudios de Proteínas (CEP), instancia de investigación de la Universidad de La Habana y una organización de la industria biotecnológica cubana: el Centro de Inmunología Molecular (CIM). CIM y CEP son parte del proceso de construcción de capacidades científicas y tecnológicas en Cuba en las últimas cinco décadas; ambos están conectados al proceso de creación de una base científica nacional, proceso que comenzó a desarrollarse a partir de los años sesenta, y del cual es parte la Reforma Universitaria que transformó las universidades e introdujo la investigación científica como un componente clave de la vida institucional.

La creación de una base científica nacional inició su camino en el contexto de profundas transformaciones políticas y económicas que, por su amplio respaldo popular, contribuyeron a la construcción de

un consenso entre la masa de profesionales e investigadores, según el cual la ciencia debía estar al servicio del desarrollo económico y social. Como expondremos más adelante, esos valores compartidos son relevantes para la vinculación entre CIM y CEP.

Ambas organizaciones son parte de las transformaciones ocurridas en la política científica y tecnológica nacional de fines de los años ochenta y principios de los noventa. Por un lado, se incorporó a la política científica universitaria el objetivo de trabajar por la innovación con el propósito de generar nuevos grupos, nuevos incentivos, que fomentaran las relaciones con el sector productivo y, por otro, se dio un impulso extraordinario a la biotecnología orientada a la industria médico-farmacéutica, con el doble propósito de satisfacer demandas nacionales del sector de la salud y generar exportaciones de alto valor agregado.

La evolución de ambas organizaciones ha transcurrido en un contexto crítico para la economía cubana, donde el financiamiento para las actividades de investigación se ha hecho crecientemente difícil. Finalmente, ellas son parte del debate sobre PCTI mencionado antes, que se orienta a consolidar un sistema de innovación capaz de atender demandas sociales e impulsar la economía.

Existen pocos estudios sobre experiencias cubanas en los campos de ciencia, tecnología e innovación. Por eso conjeturamos que este tipo de trabajo puede ser de interés para quienes toman decisiones en este campo. ¿Pueden los países en desarrollo generar innovación basada en la ciencia a través de la vinculación entre la universidad y la industria? ¿Cuáles son las características de esa vinculación: sus motivaciones, barreras, canales, beneficios y riesgos? Es difícil hacer generalizaciones, pero las evidencias que estos casos ofrecen permiten extraer algunas lecciones de utilidad para ese debate.

Nuestro trabajo consiste en una investigación descriptiva que se apoya en estudio de documentos, entrevistas y, sobre todo, en la observación participante de los autores de esta contribución: hemos colaborado profesionales involucrados en las instituciones que participan de la vinculación y un estudioso de los temas de políticas en ciencia, tecnología e innovación.

Este artículo sigue la siguiente lógica: comenzamos por presentar los referentes conceptuales y metodológicos a partir de los cuales realizamos nuestro trabajo; caracterizamos los dos actores involucrados en la vinculación y los procesos de acercamiento entre ellos, para luego identificar las motivaciones, canales, beneficios, barreras y

riesgos que encontramos en esta vinculación. Finalmente, identificamos algunos aprendizajes que se derivan de este estudio.

1. El papel de la universidad en el sistema de innovación. Referentes conceptuales y debates sobre política

En Cuba la innovación fue incorporada de forma explícita a la política de ciencia y tecnología (PCT) a partir de 1994. Con la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), se formularon un conjunto de políticas que ponían el énfasis en la innovación y resaltaban el papel de las instituciones de investigación en la recuperación económica del país. El propósito principal declarado fue colocar en su centro a la producción de bienes y servicios, sobre bases de eficiencia y competitividad, que condujeran a una economía moderna y a su inserción ventajosa en el mercado internacional. El modelo se denominó «Sistema de ciencia e innovación tecnológica» y concedió un gran protagonismo al sector de I+D. Esto se corresponde con lo que se ha denominado modelo restringido de sistemas de innovación (Lundvall, 2007; Lundvall *et al.*, 2009).¹ Los avances más relevantes se han obtenido en la industria biotecnológica. En otros sectores e instituciones los resultados son más modestos.²

Las universidades cubanas ocupan un lugar importante en el sistema cubano de innovación (Núñez, *et al.*, 2011a). Ellas realizan una parte importante de la investigación nacional, gestionan conocimiento e innovación para el desarrollo territorial y local, forman los graduados y ofrecen formación de posgrado en áreas relevantes para el desarrollo, en particular para el sector de la biotecnología. Por ejemplo, alrededor del 20 % de los doctores en ciencia que forma la Universidad de La Habana (UH) cada año están vinculados a perfiles de interés para el desarrollo de la biotecnología. Centenares de investigadores y tecnólogos del Polo Científico se han formado en programas de maestrías de la UH y algo semejante ocurre en otras universidades. La educación

¹ «Innovation system research has taken two different perspectives, a narrow one, equating innovation to science and technology, and a broader one encompassing learning, innovation and competence building at different levels of aggregation» (Lundvall *et al.*, 2009). Estos autores critican el Modelo de la Triple Hélice porque contribuye a una comprensión estrecha del sistema de innovación.

² Una evaluación de los resultados de la PCT en Cuba puede encontrarse en Núñez y Montalvo (2014). Allí se menciona que los resultados de dos encuestas de innovación realizadas en 2004 y 2006 revelan la débil interacción entre el sector empresarial y el sector de producción de conocimientos.

superior ha creado programas de formación, o ha modificado los ya existentes, por reclamo de la industria, como es el caso de la ingeniería biomédica. Uno de los destinos más importantes de los graduados universitarios en áreas como química, biología, bioquímica, microbiología, farmacia e ingenierías afines, entre otras, son los centros del sector de la biotecnología. Sin embargo, son escasos los estudios realizados en Cuba sobre la conexión entre la industria y las universidades (Pérez y Núñez, 2009; Núñez *et al.*, 2011b).

Según Dutrénit (2010), hay mucha evidencia de los beneficios que las interacciones entre organizaciones públicas de investigación e industria generan para ambos actores, pero, como ha mencionado Arza (2010), la mayoría de los estudios empíricos y teóricos se basan en experiencias de países desarrollados (Perkmann y Walsh, 2007; Bekkers y Bodas Freitas, 2008) y muy pocos de países en desarrollo.³

Arza (2010) indica correctamente que estos estudios en países del Sur deben tomar en cuenta algunas particularidades. Por ejemplo, se debe analizar si esos vínculos contribuyen o no a atender necesidades socioeconómicas propias, como pobreza, inequidad, sistemas de salud frágiles, educación, entre otras. Como es conocido, las demandas del mercado con frecuencia difieren de las necesidades sociales más urgentes. Esa es hoy una importante preocupación de los estudios sobre innovación (Bortagaray y Ordóñez-Matamoros, 2012; Cassiolato y Lastres, 2013; Sutz, 2010; Johnson y Andersen, 2012).

Por otra parte, en el Sur el dinamismo tecnológico de las firmas es menor. Las empresas tienen poca capacidad absorptiva y se prefiere importar tecnologías a crearlas, lo cual es un viejo problema que incluye aspectos económicos, pero también políticos y culturales (Sábato y McKenzie, 1982). Otra particularidad es que en los países del Sur, con frecuencia las universidades no se involucran directamente en el desarrollo económico y social, por ejemplo, a través de agendas de investigación orientadas a ese fin. En América Latina, desde los años noventa se enfatiza el vínculo universidad-empresa, pero los resultados aún son modestos (Santelices, 2010; Albornoz y López Cerezo, 2010; OEI, 2012). Exploraremos en nuestro estudio de caso si estos rasgos generales se cumplen o no.

El otro tema conceptual que anima nuestro trabajo es el de modelos de universidades. Al respecto, autores vinculados a GLOBELICS (Brun-

³ Para el caso de las universidades, hay contribuciones interesantes; por ejemplo: S. Schwartzman (ed.) (2008).

denius *et al.*, 2009) han defendido el concepto de «sistema universitario de desarrollo» («developmental university system»). Los autores prefieren este concepto a otros como los de «tercera misión» y «universidades emprendedoras» («entrepreneurial universities»). Sus argumentos se resumen así: la tercera misión de las universidades adiciona a las dos consideradas como clásicas (la enseñanza y la investigación científica) las diferentes vías mediante las cuales se conciben las relaciones de las universidades y la sociedad a la cual pertenecen. La noción de «tercera misión» encierra, en sí misma, una fuerte inclinación normativa: aún no está legitimada como las otras dos misiones universitarias. Por otra parte, la definición de «universidades emprendedoras», aunque tiene diferentes significados, suele estar relacionada con la idea de capitalización del conocimiento («capitalization of knowledge»), propia del modelo de «Triple Hélice» (Etzkowitz, 2004; Etzkowitz y Leydesdorff, 2000).

El «sistema universitario de desarrollo» (DUS, por sus siglas en inglés) debe estar vinculado, preferentemente, a un enfoque amplio de sistema de innovación, que no solo considere las actividades de I+D y sus instituciones, e incorpore el aprendizaje, las capacitaciones productivas, que realizan diferentes tipos de organizaciones, que suele denominarse como modo de innovación del tipo «hacer, usar e interactuar» («Modo DUI», según siglas en inglés) (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000, p. 314).

El DUI, según la formulación de los mencionados autores, debe ser un sistema abierto, orientado a interactuar con la sociedad. No debe guiarse por la lógica de la ganancia y su mayor objetivo debe ser contribuir al desarrollo económico y social (con equidad e inclusión). Tiene como objeto promover la innovación, combinándola con igualdad y justicia. En suma, debe ser una herramienta para el desarrollo. Se ha sugerido que un sistema así puede ser útil también para países desarrollados.

Aunque en este enfoque, denominado DUS, las universidades desempeñan diferentes papeles, siempre es importante diferenciar las contribuciones que estas pueden realizar con relación a otras organizaciones. Por otra parte, el enfoque sugiere la necesidad de la diferenciación entre universidades: unas pueden ser centros articulados a redes globales de conocimiento⁴ y otras, centros de desarrollo nacional o regional, más orientadas a solución de problemas locales.

⁴ Sobre redes de conocimiento: R. Casas (ed.) (2001).

Las universidades deben tener capacidad de responder en el corto plazo a necesidades de los usuarios y la vez mantener algún grado de autonomía y establecer compromisos a largo plazo. Finalmente, el DUS debe apoyarse en el compromiso y la motivación de sus profesores e investigadores. Los valores compartidos son fundamentales. Lo más importante es que profesores e investigadores se sientan socialmente útiles (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000, p. 331) y las instituciones los respalden.

El enfoque que existe en Cuba sobre el papel de las universidades en el sistema de innovación se corresponde bastante bien con la idea de DUS.⁵ Las universidades están orientadas a satisfacer necesidades del desarrollo. Nuestro modelo se basa en la idea de que la excelencia académica debe combinarse con la relevancia y el impacto económico y social. La pertinencia y la orientación a la satisfacción de necesidades sociales son requisitos imprescindibles de un desempeño académico de excelencia.

Las universidades cubanas planifican sus actividades a corto y mediano plazos. Uno de los elementos centrales de ese planeamiento es la proyección y evaluación del impacto económico y social de la universidad, incluido el impacto de las actividades de I+D y la formación de recursos humanos.

El caso que estudiamos en este documento aborda un tipo específico de vínculo universidad-industria. El Centro de Estudios de Proteínas (CEP) de la Universidad de La Habana es una institución con resultados científicos relevantes, bien conectada con redes internacionales, que ha establecido un canal bidireccional de intercambio con el Centro de Inmunología Molecular (CIM), uno de los más importantes de la industria biotecnológica cubana. Se trata, por tanto, de innovación basada en la ciencia.

En este trabajo nos apoyamos en un marco conceptual (Arza, 2010; Dutrénit y Arza, 2010) que sugiere estudiar la vinculación a través de motivaciones, barreras, canales, beneficios y riesgos y sus relaciones. Como se mencionó, los resultados de esta indagación pueden ser importantes para los tomadores de decisiones. En Cuba se labora en la actualidad en la formulación de una nueva PCTI que favorezca

⁵ El caso que estudiamos en este documento, es claramente de innovación basada en la ciencia y no tanto del Modo DUI. Sin embargo, como hemos mostrado en otro lugar (Núñez *et al.*, 2013), las universidades también participan en otros modos de innovación.

en mayor medida las conexiones entre centros de investigación y el sector productivo. En ese contexto se ha producido un debate sumamente interesante sobre el papel de las universidades (Blanco, ed., 2013). Las lecciones que resultan de aquí pueden ser útiles para ese fin.

Por otra parte, esta pesquisa revela algunas particularidades en relación con la experiencia internacional. Frecuentemente, los estudios se basan en las relaciones entre universidades y sector privado. En nuestro caso, la universidad es pública y la industria es propiedad del Estado. Otra peculiaridad se refiere a los vínculos entre canales y beneficios. El marco conceptual utilizado destaca los siguientes: 1) servicio, que genera beneficios económicos para las organizaciones públicas de investigación (OPI) y beneficios productivos a corto término para las firmas; 2) tradicional, que genera beneficios intelectuales para OPI y beneficios productivos a corto término para las firmas; 3) bidireccional: genera beneficios intelectuales para OPI y de largo término basados en la innovación para las firmas, y 4) comercial: beneficios económicos para OPI y de largo término basados en la innovación para las firmas.

El caso que expondremos a continuación confirma la importancia del canal bidireccional y muestra un panorama un poco más complejo sobre las relaciones entre motivaciones, canales y beneficios. Ello se relaciona con el hecho de que nos referimos a una industria pública con buen dinamismo tecnológico, que combina la atención de problemas de salud relevantes con la obtención de provecho económico. En esa combinación, las metas de salud son **clave**. Tanto el personal que trabaja en el CIM como los investigadores del CEP reconocen en ellas, enfocados a enfermedades de gran impacto humano como el cáncer, una motivación fundamental. De tal modo, el compromiso con objetivos sociales, la motivación y los valores, individuales e institucionales, compartidos por la universidad y el sector productivo, son elementos fundamentales.

2. La ciencia universitaria: evolución del Centro de Estudios de Proteína

El CEP, como toda la investigación científica en la Universidad, tiene sus orígenes en la Reforma Universitaria de 1962, que incorporó la investigación a la educación superior, creó las carreras de ciencias orientadas a la formación de investigadores y dio lugar a los primeros documentos de política científica universitaria (Núñez 2010).

El CEP ilustra los cambios experimentados en la institucionalidad de la investigación científica universitaria y su orientación hacia una

mayor conexión con el sector productivo. Su estrategia y andadura han sido diferentes a las de otros grupos universitarios. Es un organismo que desde sus inicios ha dirigido sus esfuerzos a vincular sus líneas de investigación con aquellas de la industria biotecnológica nacional –ahora integrada en la organización superior de dirección empresarial BioCubaFarma–, mediante el desarrollo de investigaciones estratégicas y la formación de alto nivel.

Este centro de estudios se creó sobre la base de la experiencia y los resultados investigativos obtenidos, desde principios de la década de los setenta, por un grupo de profesores del Departamento de Bioquímica de la entonces Escuela de Bioquímica Farmacéutica, posteriormente integrada en la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana. En esta década y en la siguiente, el desarrollo de las investigaciones permitió acumular experiencias y resultados, en la esfera de la bioquímica de las **proteínas, de interés** para la biomedicina y la biotecnología. Fue una primera etapa donde se desarrollaron metodologías para la purificación y caracterización de proteínas. Esta fase permitió la consolidación de un colectivo de profesores con una clara concentración en tareas de investigación científica orientadas a problemas de incidencia social, aun cuando en sus inicios podemos considerarla una etapa de desarrollo endógeno del grupo.

Durante la década de los años ochenta, la contribución de la ciencia al desarrollo del país fue objeto de agudas críticas debido al bajo nivel de aplicación de los resultados científicos, la dispersión y la falta de integralidad de muchos de los esfuerzos que se venían realizando. Entre otras medidas adoptadas, la ciencia pasó a ser organizada a través de programas científico-técnicos nacionales, ramales y territoriales. Numerosos centros de investigación fueron adscritos a los ministerios productivos que debían interesarse por sus resultados, se crearon centros de investigación y/o producción (con facilidades para el escalado y la producción) y surgieron los «polos científicos» en todas las provincias (redes de instituciones científicas, educacionales, de salud y productivas encargadas de impulsar diferentes programas de investigación y aplicación de resultados).

De tal forma, hacia los ochenta llegaron a la universidad nuevas señales del contexto, demandando mayor contribución social, en particular productiva, a la investigación universitaria. A partir de 1985 aumentó la vinculación de la Universidad de La Habana con los principales programas nacionales de desarrollo, y en ese entorno

fueron surgiendo nuevas instituciones de investigación que partían generalmente de grupos ya existentes, con el propósito de dotar a estos colectivos de mayor capacidad para producir y aplicar resultados científicos. Apareció así un conjunto de centros de nuevo tipo vinculados directamente a programas nacionales de desarrollo industrial que reclamaban un importante respaldo científico-técnico. Estos centros se orientaron a cerrar el ciclo investigación-producción con una organización multidisciplinaria e incorporando capacidades productivas o mediante vínculos muy estrechos con la industria. Es el caso del Instituto de Materiales y Reactivos, el Centro de Biomateriales, el Centro de Antígenos Sintéticos, el Centro de Productos Naturales, el Instituto de Farmacia y Alimentos, entre otros. Todos ellos contaron con inversiones centrales significativas y atención diferenciada del Gobierno (Rodríguez, 1997).

Es común a todos esos centros su inmersión dentro de un tejido de relaciones que incorporó actores sociales diversos y planteó demandas más directas a la investigación, con la consiguiente generación de nuevas trayectorias socio-técnicas (Thomas, 2008 y 2011) (vacunas, láseres, biomateriales, medicamentos, etc.). En mayor medida que en el período inmediato anterior, los campos de relevancia se definieron en el intercambio entre actores académicos y extrauniversitarios.

En la medida en que la crisis económica del país se profundizó luego de la caída de la Unión Soviética, el propósito de aumentar el efecto práctico de las investigaciones se enlazó con la idea de obtener por esa vía recursos financieros para la universidad. De los análisis colectivos surgieron nuevas agendas de investigación que incluyeron: medicamentos, diagnosticadores, biomateriales, equipos médicos, nuevos materiales, biotecnología y alimentos, estudios medioambientales, computación, estudios económicos, entre otras. En cada una de estas direcciones se precisaron líneas de investigación priorizadas con el propósito de utilizar más eficientemente los limitados recursos disponibles, concentrar la producción científica universitaria y elevar su impacto sobre los problemas más importantes para el país. Se establecieron también lineamientos para la captación de recursos materiales y financieros, basados, entre otros en la venta de servicios científicos-técnicos, *software*, pequeñas producciones especializadas de alto valor agregado, así como transferencia de tecnologías (Rodríguez, 1997).

La orientación práctica e incluso comercial demandó de los grupos y centros de investigaciones el aprendizaje de asuntos en los cuales

antes no habían incursionado: estudios de mercado, análisis de costos, gestión por proyectos, gestión de la calidad, estrategias de comercialización, contratos, propiedad intelectual, licencias, publicidad, entre muchos otros, y se generaron interacciones múltiples entre diversos especialistas. Ocurrió así una transformación en la racionalidad y la cultura de varios de los líderes científicos e investigadores. Quizás no sea exagerado decir que se forjó una suerte de segunda revolución académica (Etzkowitz y Leydesdorff, 1997).

El período se caracterizó por otros aspectos relevantes. El primero a destacar es la fragua del sistema de posgrado que la Universidad de La Habana exhibe hoy, con un alto volumen de maestrías y doctorados, con la pertinencia social como guía y sujeto a un proceso bastante estricto de evaluación y acreditación de programas. Lo segundo es la transformación radical del proceso de internacionalización de la Universidad. Si en la etapa anterior fueron privilegiadas las relaciones con instituciones europeas del campo socialista, luego de la desaparición de este, la UH pasó a diversificar y ampliar sus relaciones en un plazo muy breve de tiempo. La formación doctoral y posdoctoral, así como las investigaciones conjuntas, están en el centro del intercambio internacional. Finalmente, en la etapa la Universidad incorporó un sistema de gestión apoyado en la proyección y evaluación anual y a mediano plazo de objetivos, programas e instituciones. Estos medios fortalecieron los mecanismos universitarios para organizar la vida institucional alrededor de prioridades y, a la vez, para rendir cuentas por su trabajo. Pertinencia y calidad están en el centro de ese sistema de gestión.

En tal contexto, en 1986, el colectivo de profesores del Departamento de Bioquímica se transformó en Grupo de Objetivos Priorizados de Proteínas (GOP), lo que determinó la ampliación de personal y de objetivos orientados hacia la obtención de productos importantes para el país. A partir de aquí puede establecerse una segunda etapa en el desarrollo del equipo de investigación. En efecto, durante los quince años de existencia del GOP, las investigaciones condujeron al descubrimiento de moléculas proteicas obtenidas a partir, fundamentalmente, de organismos marinos, con aplicaciones potenciales en la biotecnología y en la biomedicina, lo que determinó el otorgamiento de varias patentes nacionales. El grupo desarrolló un estudio amplio y multidisciplinario de caracterización molecular y funcional de proteínas, tales como inhibidores de proteasas y proteasas de diferentes clases mecanísticas y toxinas con acción membranotrópica, lo que

contribuyó a la introducción de tecnologías de avanzada y a ampliar el conocimiento en este campo. Esto permitió la obtención de proyectos nacionales e internacionales, la publicación de artículos científicos en revistas de la corriente principal, la presentación de numerosas ponencias en eventos internacionales, dentro y fuera de Cuba, y una colaboración estrecha bi- y multidireccional con centros de investigación y producción del país, incluyendo los del sector biotecnológico (agrupados en el *cluster* que, como ya se apuntó, se denominó «Polo Científico del Oeste de La Habana») que como parte de la misma PCTI fueron surgiendo durante esa década y la siguiente.

El grupo en su desarrollo fue logrando la capacitación de profesionales con un nivel de especialización superior y prestó numerosos servicios científico-técnicos. Estos servicios respondieron a los ajustes en las prioridades, que expresaban un cambio en la mentalidad y el modo de asumir la actividad científica, de acuerdo con la naturaleza del encargo social recibido. Con iguales motivaciones el CEP se concentró en diversas tareas como la producción de reactivos biológicos para el sistema de salud pública cubano (enzimas y otros compuestos para los *kits* para diagnóstico de laboratorio) o proteína A inmovilizada para la purificación de inmunoglobulina, entre otros.

El perfeccionamiento de la enseñanza de posgrado fue otra de las misiones que el GOP se trazó desde sus inicios, colaborando con la formación de profesionales de diferentes especialidades de otros centros en el área de la bioquímica de las proteínas y enzimas. La etapa se caracterizó por una intensa actividad de posgrado pues la Facultad y, en particular, el área de bioquímica fue el escenario natural en el que se defendieron numerosas tesis doctorales de los centros del naciente Polo Científico con su doble implicación: la contribución de la experiencia académica a los procesos de defensas doctorales y la obligada actualización de los académicos en temas de frontera e impacto para la naciente industria biotecnológica del país. Por otra parte, la academia a través de estas actividades, se fue convirtiendo en un eslabón imprescindible en la calificación del personal vinculado directamente a la industria biotecnológica y contribuyó a alcanzar un cierto nivel de reconocimiento profesional. En otras palabras, esta etapa fundacional puede caracterizarse así:

- Consolidación y concentración de objetivos de investigación científica por un grupo de académicos universitarios.

- Orientación de estas investigaciones hacia la solución de problemas sociales, sin abandono de las investigaciones básicas, aunque no estuvo exenta de desaciertos, de prioridades no bien definidas por parte de los organismos que reclamaban la solución de problemas por parte del grupo universitario.
- Inicio de vínculos con centros de la industria biotecnológica a través de proyectos de investigación.
- Contribución de la academia a la formación posgraduada del personal vinculado a la industria biotecnológica.
- La industria biotecnológica se encontraba en su fase inicial, concentrada en su desarrollo endógeno. El interés por la Universidad se centró, sobre todo, en la formación de posgrado de sus especialistas, jóvenes en su mayoría.

En suma, esta etapa puede considerarse de acercamiento mutuo, exploratoria, aun sin fraguar proyectos conjuntos de largo alcance. Tal vez, la existencia de una brecha sustancial en la cultura de la propia Universidad de cómo entender la tríada ciencia, tecnología e innovación en relación con el sector productivo biotecnológico y las propias urgencias endógenas de desarrollo del sector productivo ralentizaron un flujo más dinámico y estable entre ambos tipos de instituciones.

A partir de la experiencia docente e investigativa acumulada por más de veinte años por el colectivo de profesores e investigadores dedicado al estudio de proteínas y enzimas, se fundó el CEP en diciembre de 2000, enfocado no solo a estrategias de obtención y caracterización de proteínas, sino también a otras tecnologías de avanzada en biociencias moleculares, en consonancia con los nuevos retos del desarrollo científico-tecnológico. Así fue posible el diseño y obtención de proteínas quiméricas o modificadas con propiedades preestablecidas o mejoradas para su uso biotecnológico o biomédico. Adicionalmente, se profundizó en las técnicas de ingeniería de proteínas, relacionadas con la modificación del microentorno de las moléculas mediante su inmovilización. La introducción de técnicas de alta productividad para la identificación de moléculas, basadas en la interacción proteína-proteína y el desarrollo de cuestiones básicas, esenciales para la caracterización estructural y funcional de las proteínas fueron objetivos del centro. A partir de esta nueva época, el CEP se convierte en uno de los centros de referencia más importantes

del Ministerio de Educación Superior de cara al desarrollo de la industria biotecnológica cubana.

Un rasgo que caracteriza el quehacer del CEP ha sido la concentración de las investigaciones del tipo que Stokes (1997) incluye en el «cuadrante de Pasteur», que él llama «investigación básica orientada para aplicación» –otros prefieren la denominación «investigación estratégica»–. Esta orientación ha permitido ir consolidando cierto liderazgo en determinados temas y tecnologías y ha conseguido sortear limitaciones materiales. Para lograr mantener un alto nivel científico, frente al deprimido crecimiento en recursos materiales de las universidades, la estrategia puesta en práctica ha combinado la concentración de esfuerzos en torno a líneas de investigación, así como el crecimiento y formación del personal recién graduado, la colaboración y las alianzas con centros del Polo Científico y la colaboración internacional con instituciones de alto desempeño científico. Resulta importante destacar que la dirección de investigaciones a un fin con prioridad social no desechó la importancia de las investigaciones básicas como soporte imprescindible de aquellas.

En esta etapa se comienzan a hacer más frecuente el establecimiento de nexos investigativos entre la Universidad y los representantes de la industria biotecnológica, fundamentalmente desde un ángulo más informal. Sin embargo, la propia dinámica de la industria, que está trabajando por encontrar sus vías de autosustentamiento ante la inversión estatal, no siempre coloca entre sus prioridades esta colaboración.

Una de las motivaciones que movilizó al CEP hacia el sector productivo fue, de una parte, la necesaria alianza con centros que, apoyados centralmente por entidades del Gobierno, contaran con equipamiento de punta y suministros para desarrollar estas investigaciones y de otra, la transferencia de experiencias de posibles salidas tecnológicas que no existían en el país y de las cuales los académicos habían sido pioneros en su introducción con una visión de su posible impacto en la industria. Hay una larga historia de estos encuentros donde los esfuerzos que fructificaron estuvieron relacionados no solo con el hecho del éxito de los resultados científicos-tecnológicos de la cooperación sino también con la *voluntad de hacerlo* aun en condiciones desfavorables.

El CEP es hoy una institución de investigación perteneciente a la Universidad de La Habana dedicada al aislamiento, purificación, así como a la caracterización estructural y funcional, de proteínas y

péptidos obtenidos, fundamentalmente, a partir de organismos marinos. Su claustro cuenta con alrededor de 25 profesionales entre profesores e investigadores a tiempo completo, así como estudiantes de posgrado. Todos comparten su tiempo entre la enseñanza y la investigación científica.

En lo relativo a la enseñanza, el CEP tiene una estrecha vinculación con el Departamento de Bioquímica de la Facultad de Biología y participa en la formación de los futuros bioquímicos-biólogos moleculares cubanos y, de forma conjunta, desarrolla programas de posgrado como la Maestría en Bioquímica y el Doctorado en Biociencias Moleculares. El claustro del CEP se compone principalmente de bioquímicos que colaboran con biólogos, físicos y químicos, que conforman un conjunto multidisciplinario con una visión más integrada de la práctica científica.

Organizado en torno a dos direcciones principales de investigación constituidas también en laboratorios: proteasas e inhibidores de proteasas y de liposomas y toxinas, el CEP cuenta también con un joven laboratorio de bioinformática que complementa el enfoque teórico necesario para explicar los hallazgos. La inmovilización de proteínas y el estudio de péptidos antimicrobianos son otras de las direcciones de investigación del CEP con resultados interesantes. Vinculados a estos temas de investigación, estudiantes de pregrado y de posgrado realizan trabajos de diploma, tesis de maestría y tesis de doctorado.

Origen y desarrollo de la industria biotecnológica⁶

De alguna manera la exposición del caso que abordamos en este documento se puede beneficiar de un breve repaso de los orígenes y evolución de la industria biotecnológica en Cuba.

El interés del Gobierno cubano por desarrollar la biotecnología en el país se puso de manifiesto a inicio de los años ochenta. Por esa época visitó Cuba el profesor Randoll Lee Clark, presidente del Instituto de Tumores del Hospital M. D. Anderson, de Houston, Texas, quien, en una visita a Fidel Castro, le aconsejó producir interferón⁷ en la Isla (Herrera, 2008). En enero de 1981 se decidió que un pequeño grupo de investigadores cubanos comenzaran a trabajar en el proyecto.

⁶ Este acápite se basa en el trabajo de Núñez, Pérez y Montalvo (2011b).

⁷ A principios de la década del ochenta el interferón se consideraba como una esperanza para combatir el cáncer (Limonta, 2002).

Dos de ellos fueron enviados a un entrenamiento a EE. UU. con el profesor Clark y después otros seis viajaron a Finlandia al laboratorio del profesor Kari Cantell en Helsinki, primer laboratorio productor de interferón en el mundo (Limonta, 2002). Otro investigador viajó a Francia con el objetivo de aprender la vía recombinante de producción de interferón. El grupo, integrado por investigadores provenientes del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) y de la Clínica del Ministerio del Interior, fue creado, y supervisado de forma directa por Fidel Castro (Herrera, 2008).

De regreso en Cuba con la tecnología de la producción del interferón, el grupo comenzó a trabajar en una casa del Gobierno convertida en laboratorio. El día 28 de mayo del mismo año 1981 el colectivo entregó a Fidel el producto de su trabajo. El primer interferón cubano fue llevado a Finlandia para ser testado en los laboratorios del profesor Cantell, donde cumplió con todos los parámetros de calidad exigidos y muy pronto se aplicó en el sistema de salud cubano para combatir una epidemia de dengue hemorrágico (Limonta, 2002).

Este resultado fue posible por la capacidad de aprendizaje demostrada por los investigadores cubanos, el interés gubernamental por el sector de la salud y la intervención personal del presidente cubano.

A fines del mes de mayo, en las mismas instalaciones donde se obtuvo el interferón, se creó el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB).⁸ La creación del CIB se percibió como «un temprano y decisivo respaldo a la visión de desarrollo acelerado de la medicina que preconiza el Gobierno cubano» (Limonta, 2002, p. 4).

En el mes de junio el Gobierno tomó además una importante decisión: fundar el «Frente Biológico», que tuvo como objetivo fortalecer y coordinar el trabajo y la investigación de diferentes instituciones y grupos científicos en el campo de la biología y la biotecnología en Cuba (Majoli, 2002; Limonta, 2002). El Frente debía promover las interacciones y sinergias entre instituciones científicas y productivas y el Gobierno. Pero el interés de este último iba más allá: «en el máximo nivel del Gobierno existía una prospección de desarrollo encaminada a alcanzar los mayores niveles de las ciencias biotecnológicas del

⁸ El CIB tenía dos propósitos principales: incrementar la producción del interferón leucocitario cuatro veces por encima del nivel de la producción existente en el laboratorio inicial, e introducir la tecnología del ADN recombinante para producir inicialmente interferón y, paulatinamente, otros medicamentos y vacunas de tipo recombinantes (Limonta, 2002).

mundo» (Limonta, 2002, p. 5). En diciembre de 1982 la UNESCO/ ONUDI lanzó una convocatoria para la creación de un Centro Internacional de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB). Cuba solicitó la sede de la institución y le fue conferida en diciembre de 1983 a Italia y la India, construyéndose sendas sedes en Trieste y Nueva Delhi. No obstante, Fidel decidió construir un centro con recursos propios⁹ (Limonta, 2002; Herrera, 2008).

Las universidades contribuyeron con profesores e investigadores a la génesis y desarrollo de las nuevas instituciones. El 1.^{ro} de julio de 1986 se inauguró el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), con instalaciones y equipamiento de última generación y, sobre todo, con un grupo de jóvenes científicos capacitados y altamente motivados (Majoli, 2002).

La institucionalización de la biotecnología en Cuba (Limonta, 2002) se basó en algunas ideas clave. El objetivo fue crear una institución de investigación-producción, a ciclo cerrado, lo que implicó, por ejemplo, realizar toda la investigación necesaria para obtener el interferón y producir las cantidades necesarias para responder a la demanda del país. Se definieron con claridad objetivos y plazos para cumplir el encargo. La comunicación e interacción entre los investigadores permitió un dominio del proyecto en su conjunto aun cuando cada uno de los participantes tenía bien definidas sus propias tareas. La capacitación constante de profesores e investigadores constituyó una prioridad, así como la búsqueda de métodos avanzados de control de la calidad. El esfuerzo de cada integrante para contribuir con los objetivos del equipo se convirtió en un hecho cotidiano y se creó un entorno de exigencia permanente. A la creación de este ambiente contribuyó de forma directa la participación personal de Fidel Castro a través del control riguroso del avance del trabajo.

Estas bases conceptuales caracterizan hasta hoy la investigación en biotecnología en el país. Lage (1999) afirma que muchas de ellas pueden ser identificadas como rasgos de lo que él denomina «el experimento» de la biotecnología cubana.

En suma, los esfuerzos a favor de la biotecnología fueron guiados por dos objetivos fundamentales: la satisfacción de las necesidades socia-

⁹ Esta decisión fue consultada a los integrantes del CIB y de otras instituciones cubanas, así como a prestigiosas personalidades internacionales de las ciencias biológicas, como el profesor Albert Sasson (Limonta, 2002).

les, en particular el avance del sistema de salud cubano, y la búsqueda de ingresos para la economía nacional en los mercados externos. Ello explica el formidable despegue de las investigaciones biotecnológicas, asociadas en lo fundamental al sector médico-farmacéutico. Influyó también en el interés por las biociencias la necesidad de enfrentar las agresiones de la guerra biológica contra Cuba.¹⁰

La biotecnología ocupa un lugar relevante dentro de la PCT de Cuba. El interés por la biotecnología no decayó a pesar de la fuerte crisis económica de los noventa y el reforzamiento del bloqueo norteamericano.

La biotecnología aplicada a la industria médico-farmacéutica ha tenido la mayor prioridad. También se desarrollan importantes proyectos orientados a la agricultura, la producción de alimentos, el ganado y el cuidado del medio ambiente. Los resultados de la biotecnología benefician al sistema de salud cubano y ocupan un lugar creciente en las exportaciones nacionales (Núñez *et al.*, 2011b).

El locus preferente de la biotecnología cubana ha sido el Polo Científico del Oeste de La Habana.¹¹ Según Lage (2008), el Polo es «un conjunto de más de 40 organizaciones que comprende cerca de 12 000 empleados, entre ellos 7 000 científicos e ingenieros». Al estudio del tema se le han dedicado diversos trabajos (entre ellos, Lage, 1994, 1999, 2006 y 2013; Kaiser, 1998; Majoli, 2002; López *et al.*, 2006 y 2007; Núñez *et al.*, 2011b).

En un sentido amplio, el Polo Científico no se limita a las instituciones que geográficamente se sitúan en la zona oeste de la capital cubana. Existe un amplio conjunto de organizaciones en el país que, aunque están subordinadas a diferentes ministerios y se ubican en diversos territorios, tienen objetivos de trabajo que contribuyen al desarrollo de las investigaciones y las producciones que se hacen en el Polo Científico. Las universidades destacan en el conjunto de esas organizaciones. Aquí se manifiesta el concepto de Fidel Castro de que el Polo Científico es un «instrumento de cooperación y de apoyo mutuo entre los centros de investigación, que tiene como objetivo poner a cooperar a todos los centros, a ayudarse unos a otros en equipos,

¹⁰ Por ejemplo, la fiebre porcina en los años setenta, el dengue hemorrágico en 1981, la plaga *Thripsalmi*, al parecer introducida intencionalmente en Cuba a fines de 1996, entre otras.

¹¹ Como se mencionó antes, ahora está integrado en la organización superior de dirección empresarial BioCubaFarma.

en personal, en experiencias, en conocimientos, lo cual multiplica sus posibilidades» (Castro, 1991).

Dentro de ese concepto amplio, algunas instituciones han constituido la base principal del Polo científico; entre ellas:

1. Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB)
2. Centro de Inmunología Molecular (CIM)
3. Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC)
4. Centro de Inmunoensayo (CIE)
5. Centro Nacional de Animales de Laboratorio (CENPALAB)
6. Centro Nacional de Biopreparados (BIOCEN)
7. Centro de Neurociencias de Cuba (CNC)
8. Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí (IPK)
9. Instituto Finlay
10. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA)
11. Centro Internacional de Restauración Neurológica (CIREN)

La comercialización de los productos biotecnológicos producidos comenzó a finales de 1983. Para ello se creó la empresa comercial Heber Biotec S. A., que en la actualidad distribuye sus principales productos en más de 45 países y cuenta con más de 400 registros farmacéuticos. Vacunas Finlay S. A. es la compañía que tiene la representación exclusiva para la negociación y comercialización de los productos, servicios técnicos y consultorías del Instituto Finlay. CIMAB S. A. es el representante exclusivo para la comercialización de los productos y servicios del Centro de Inmunología Molecular. De esta manera, casi todos los centros del Polo Científico tienen sus propias empresas comercializadoras para conseguir el cierre del ciclo investigación-producción-comercialización. En la actualidad estas empresas exportan a decenas de países ~~productos~~ por centenares de millones de dólares.

En los últimos años el Polo Científico y su sistema empresarial han fortalecido el trabajo conjunto con empresas extranjeras; por ejemplo, de China, Vietnam, India e Irán, donde incluso se han creado instituciones análogas. También se ha colaborado con empresas de Canadá y Estados Unidos. Existen acuerdos o negociaciones para la transferencia de tecnologías con alrededor de una veintena de países.¹²

¹² Entre estos países, India, China, Brasil, Egipto, Malasia, Irán, Rusia, Sudáfrica, Gran Bretaña, Venezuela, México, Túnez, Argelia, Bélgica y negociaciones con

Las negociaciones incluyen tanto productos como activos intangibles (patentes, tecnología, conocimiento tácito, capacidad científica).

El modelo de desarrollo de la biotecnología cubana se considera exitoso desde los puntos de vista científico, social y económico. Lage ha resumido sus características (Lage, 2006) del siguiente modo:

- Se ha realizado en un país en vías de desarrollo, con escasos recursos materiales y poco desarrollo industrial; ha sido conducido básicamente por el Estado y prácticamente sin inversión extranjera directa, aunque la cooperación a través de empresas mixtas avanza. El financiamiento de las inversiones no procede de la especulación en la bolsa con las acciones de las empresas sino de ingresos reales que produce la comercialización, tanto de productos como de activos intangibles.
- La integración de las actividades de investigación, producción y comercialización: de modo semejante a como se muestra en el modelo del «Modo 2» de producción de conocimientos (Gibbons, *et al.* 1994), en el sector biotecnológico se trabaja en el «contexto de aplicación», se fomentan las interacciones y el trabajo en redes, se utilizan criterios de calidad apropiados (la producción de publicaciones científicas¹³ o la obtención de reconocimientos académicos se subordina a la solución de problemas de salud o la obtención de logros económicos a través de la comercialización en el exterior) y se promueve la interdisciplinaridad. Como vemos, desde el punto de vista de la producción de conocimiento se trabaja, hasta cierto punto, dentro de un modelo semejante al de la industria biotecnológica internacional, aunque en la experiencia cubana, a diferencia de otros países, las mismas instituciones trabajan a «ciclo completo», desde la producción hasta el uso del conocimiento y la captura del valor generado.
- La diferencia está en la apropiación social de esos resultados: la población cubana y, con frecuencia, personas de otros países

Holanda, España, Alemania y Estados Unidos. Brasil compra a Cuba 100 mil dosis de vacunas contra la hepatitis B y 1 millón de dosis de vacunas contra la meningitis B.

¹³ Aunque algunas instituciones como el CIGB «has published 680 peer-reviewed papers in scientific journals, from 1986 to 2006. It is also worth noting that the CIGB's papers have been cited in more than 3 000 papers» (López, *et al.*, 2006).

que reciben los beneficios de la cooperación médica cubana se apropian de esos avances gratuitamente o a precios muy bajos. Por tratarse de empresas públicas los beneficios de la comercialización pertenecen a la población. Esos beneficios sirven para ayudar a mantener el sistema de salud cubano.

- La capacidad de trabajar, a la vez, en temas de la frontera científica y tecnológica y en productos más tradicionales que generan oportunidades económicas al país. Estos últimos permiten realizar importantes aprendizajes que se reflejan en la consolidación de la industria y junto a los servicios médicos constituyen un factor importante del intercambio comercial con numerosos países. Algunas de las trayectorias tecnológicas escogidas responden a perfiles epidemiológicos diferentes al que caracteriza a Cuba. Este es el caso, por ejemplo, de la vacuna del cólera, que en Cuba no constituye un problema de salud pero si es una importante prioridad para otros lugares. Los objetivos de la biotecnología cubana atienden intereses tanto de los países del sur como del norte.
- La gran articulación con el Estado y el Gobierno. Las relaciones han sido fluidas y permanentes. Algunas decenas de investigadores han sido miembros del parlamento cubano, lo que proporciona a ese sector de la comunidad científica una alta representatividad política.
- La comunidad científica y tecnológica de la biotecnología cubana se caracteriza por valores de consagración al trabajo, orientado al servicio público. En los últimos años se ha incrementado notablemente la gratificación económica de esos trabajadores, pero, sin duda, los beneficios que obtienen son mucho menores que los servicios que prestan y la riqueza que crean.
- La colaboración de las instituciones del Polo Científico con otras instituciones cubanas, por ejemplo, con el sistema de salud cubano y su red de hospitales y médicos de la familia. También es importante la colaboración con el sistema de educación superior.

Los avances se han basado en aspectos tales como la prioridad de la biotecnología dentro de la PCTI, la fortaleza del sistema de salud, la puesta en práctica de formas de gestión adecuadas a los propósitos de

la industria biotecnológica (gestión que ha estado guiada siempre por indicadores ambiciosos y por la búsqueda permanente de lo nuevo), la cooperación estrecha entre actores, la ampliación de los mercados internacionales, la utilización de la cooperación internacional, los relativamente rápidos aprendizajes en materia de gestión de la calidad y manejo de la propiedad intelectual, una adecuada percepción social sobre la contribución de la biotecnología al desarrollo.

La industria biotecnológica cubana ha devenido a lo largo de treinta años un sector emergente de la economía nacional, con productos innovadores de alto valor agregado que cierran su ciclo económico en el mercado exterior. Esta experiencia enseña que la industria de alta tecnología en países pequeños debe estar orientada a la exportación, ya que el mercado doméstico no permite recuperar la inversión en investigación-desarrollo.

Este hecho tiene implicaciones prácticas en la gestión de las empresas innovadoras, más aún en los países en vías de desarrollo, pues requiere de la interacción con mercados sujetos a diferentes ambientes regulatorios. Por otra parte, el propio proceso de globalización de la economía mundial ha conllevado a un crecimiento permanente y prácticamente universal del estado regulatorio y competitivo de los mercados. El éxito de estas empresas de alta tecnología en países del sur pasa por una capacidad innovadora en los modelos establecidos de negocio, que permita la sostenibilidad financiera del crecimiento y la gerencia distribuida de los proyectos a través de alianzas estratégicas.

Como se ha dicho, los cambios que se producen en la actualidad en la economía cubana determinaron la incorporación del Polo al grupo empresarial de la industria médico-farmacéutica (BioCubaFarma), creado a finales de 2012 y subordinado directamente al Consejo de Ministros. Este organismo reúne a las instituciones del Polo Científico y al Grupo Empresarial Farmacéutico con otras entidades de investigación científica, productiva, de servicios y de comercialización. Esta combinación persigue hacer coincidir en una sola estructura las instituciones encargadas de todo el ciclo productivo, desde la investigación hasta la comercialización, de modo que las interacciones entre los procesos sean más eficientes. BioCubaFarma también cuenta con un mayor nivel de autonomía empresarial.

Tomando como base la demanda cubana de medicamentos, y para la exportación, BioCubaFarma dirige la ejecución de la política de investigación y desarrollo de medicamentos y de otros productos

y servicios, incluyendo su proyección en el mercado internacional. También, de las actividades de comercio exterior y las negociaciones en las que participen las entidades, como la importación y exportación de productos y servicios, la transferencia de tecnología y el desarrollo de productos y servicios (Ministerio de Justicia de Cuba, 2012; Núñez y Figueroa, 2014).

El Centro de Inmunología Molecular en la industria biotecnológica cubana: innovación basada en la ciencia

El Centro de Inmunología Molecular (CIM), fundado en 1994, es una de las empresas más destacadas en el Grupo BioCubaFarma. A finales de 2015 el CIM tenía 1 136 trabajadores, entre ellos 514 graduados universitarios y 406 técnicos. El personal del CIM incluye 441 doctores, 150 másteres en ciencias y acumula 639 patentes en el exterior (355 concedidas). En 2014 la formación del personal alcanzaba alrededor de 70.5 horas por trabajador. Las exportaciones del CIM han aumentado 926 veces en 20 años y su mercado se ha ampliado a 31 países. Tiene su propia firma comercial (CIMAB) registrada en la Cámara de Comercio de Cuba. CIMAB tiene participaciones en 3 empresas mixtas, en España, Singapur y China. El ingreso anual es aproximadamente de 100 millones de dólares debido a la exportación de productos y regalías de empresas conjuntas en el extranjero. Hay una fuerte colaboración con Brasil, China y la India y una estrategia para diversificar los mercados.

El CIM surge y se desarrolla como una empresa de propiedad estatal, en una economía socialista. La inversión inicial provino del Gobierno que aportó el capital que todas las compañías de alta tecnología y alto riesgo necesitan para madurar. De hecho, en su primera década el CIM trabajó como organización presupuestada hasta que sus resultados económicos le permitieron pasar a un sistema de gestión autofinanciada.

De modo similar al resto de las instituciones de la industria biotecnológica cubana, es un centro que realiza actividades de investigación-desarrollo, producción y comercialización, que trabaja orientado al desarrollo de anticuerpos monoclonales y vacunas terapéuticas para la inmunoterapia del cáncer y en la tecnología de escalado del cultivo de células de mamíferos (Pérez, 2008).

El CIM, como otras organizaciones de la industria biotecnológica cubana, tiene la capacidad de trabajar, a la vez, en temas de la

frontera científica y tecnológica que generan productos innovadores (patente propia), y en la asimilación de tecnologías que generan productos biosimilares (patente de otro que expira su plazo de validez), que generan oportunidades económicas y resuelven problemas de salud al país.

A la vez, el CIM tiene asimismo algunas particularidades. La primera es que fue fundado en 1994, dos años después de la desaparición del campo socialista europeo y en el nadir de la crisis económica que derivó de la pérdida de los justos términos de intercambio comercial que Cuba tenía con esos países. El despegue del CIM no disfrutó del contexto económico favorable que mantenía la integración económica con el campo socialista. La segunda es que la inmunoterapia del cáncer es el campo más competitivo de la biotecnología mundial (40 % de todos los biofármacos en desarrollo en el mundo), por lo que este centro no dispuso de la ventaja de nichos comerciales de escasa competencia. La tercera característica es que sus instalaciones de escalado se basaron en la tecnología de células superiores, que en ese momento, como tecnología industrial, no contaba con un desarrollo a nivel mundial (Núñez y Figueroa, 2014).

En resumen, se trató nada menos que de un emprendimiento en un campo competitivo, con tecnologías emergentes y en un contexto de depresión general de la economía. Probablemente cualquier enfoque convencional de análisis *ex-ante*, hubiera pronosticado el fracaso del CIM.

Sin embargo, después de una etapa de despegue de cinco años, entre 2000 y 2011, las exportaciones del CIM se multiplicaron por 16, llegando a más de 25 países; el colectivo de trabajadores aumentó 5 veces; los ingresos pudieron financiar la ampliación del área construida y la multiplicación por 5 de la capacidad productiva. También participa en una empresa mixta con capacidades de producción en China. El CIM acumuló 40 invenciones patentadas que sustentaron 737 aplicaciones de patentes en el exterior (Núñez y Figueroa, 2014). Y lo más importante: abasteció al sistema cubano de salud con productos inmunológicos avanzados que se suministran gratuitamente a la población.

¿Cómo fue posible esto? ¿Cómo pudo «navegar contra el viento» (Arocena y Sutz, 2003) esta organización y sus innovaciones?

La proyección de este centro se apoya en algunas ideas básicas (Pérez, 2008). Primero, en una determinación precisa de los objetivos

y los plazos para alcanzarlos. El objetivo económico constituye una importante fuerza motriz de las investigaciones. Los ingresos económicos permiten la sostenibilidad de las investigaciones. En segundo lugar, la competitividad basada en la innovación; la búsqueda de conocimiento nuevo es esencial. La novedad de los productos que surgen de la investigación es la que permite ocupar posiciones en el mercado. Sus investigaciones demuestran que desde el sur se pueden producir innovaciones que satisfagan necesidades del sur y del norte. El CIM desarrolla también una «estrategia puente», que consiste en la obtención de productos de bajo riesgo, en lo fundamental productos tipo «me too». Estos productos permiten tener un flujo de caja positivo y permiten además ganar experiencia en el escalado industrial. En tercer lugar, el avance de la institución mediante redes de colaboración. Las redes fomentan la conectividad entre instituciones (sector salud, universidades, instituciones extranjeras), lo que se convierte en un factor de competitividad y de integración. En cuarto lugar, la comunidad científica y tecnológica que labora en el CIM se caracteriza por valores como laboriosidad, espíritu de equipo y orientación al servicio público. Es esencial la superación, los programas de maestría y doctorado, la captación y selección de nuevo personal, así como la obtención de grados académicos en los campos de la investigación y la docencia.

En resumen:

- El CIM, empresa de propiedad estatal, en una economía socialista, tuvo la condición de unidad presupuestada en su primera década, hasta que alcanzó un desempeño empresarial satisfactorio. La intervención estatal lo protegió de presiones competitivas domésticas y enfoques cortoplacistas, pero al mismo tiempo la estrategia exportadora lo expuso a altos requerimientos de calidad por parte de las agencias regulatorias y a las presiones competitivas externas. El acompañamiento del Estado se proyectó también hacia el exterior y los productos se insertaron en varios países en el marco de acuerdos intergubernamentales de mayor alcance.
- El CIM no renunció a la investigación científica básica, manteniendo una generación de ideas y productos totalmente originales. No olvidó que lo primero y lo más relevante en el mediano plazo en la industria biotecnológica es disponer de

fuertes capacidades científicas, combinando diferentes tipos de innovaciones, incrementales unas y radicales otras. Combinó el aprendizaje tecnológico y la mejora de productos con la investigación de alto nivel.

- El CIM logró construir una «estrategia de evaluación clínica a escala poblacional», con sus productos terapéuticos como resultado de los vínculos estrechos con programas de salud de amplia cobertura del Sistema de Salud Cubano. El director de CIM ha escrito:

La biotecnología llenó el vacío entre la investigación en inmunología y el sistema de salud. Once vacunas, más de 40 compuestos biológicos terapéuticos (incluyendo anticuerpos monoclonales y proteínas recombinantes) y sistemas de inmunodiagnóstico (incluyendo equipos para diagnóstico inmunoenzimático) se fabrican en Cuba. La carpeta de proyectos tiene ahora 91 nuevos productos potenciales en investigación. Más de 60 ensayos clínicos están en curso, con la participación de 65 hospitales (Lage, 2008, p. 110).

El CIM, como otros centros de la biotecnología, toman en cuenta las necesidades del sistema de salud para construir sus agendas de investigación y desarrollo; la interacción con el sistema de salud favorece el aprendizaje y abre nuevos senderos tecnológicos. Este enlace entre alta tecnología y programas de salud es un buen ejemplo de tecnología e innovación que resuelve problemas sociales y favorece la inclusión social y la atención a la salud. Como sabemos, la articulación entre innovación e inclusión social es uno de los temas relevantes en la agenda internacional (Dutrénit y Sutz, eds., 2013).

En la actualidad, en su colaboración con las universidades el CIM desarrolla varias áreas temáticas, entre las que se destacan el desarrollo de una vacuna terapéutica para el cáncer de mama, adyuvantes para vacunas terapéuticas, estudios de sistemas complejos, simulación de sistemas biológicos y fermentación a escala industrial de células superiores. Colabora con la Universidad de La Habana, el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, la Universidad de Ciencias Informáticas, entre otros centros de educación superior. El CIM es también una «unidad docente», donde los estudiantes de grado

de las universidades antes mencionadas desarrollan habilidades prácticas en los laboratorios y plantas de producción; algunos de ellos, después de su graduación, pueden convertirse en parte de su equipo de trabajadores. Al mismo tiempo la participación de investigadores y tecnólogos como miembros adjuntos de los claustros de las facultades universitarias, contribuye a su desarrollo académico y se opone al pensamiento pragmático frecuente en los empresarios. Esta contradicción estimula la creatividad.

Vínculo CEP-CIM: motivaciones, barreras, canales, beneficios, riesgos

La literatura sobre motivaciones para establecer vínculos entre investigadores y empresas clasifica las de los primeros en dos grupos: intelectuales y económicas, y las de los segundos en actividades de producción de corto plazo y estrategias de innovación de largo plazo (Arza, 2010). Veamos cuáles son las motivaciones en el caso que nos ocupa, y su evolución a lo largo de más de veinte años.

Ante las amenazas que se cernían sobre la ciencia universitaria, en lo fundamental, por la escasez de una fuente de financiamiento nacional estable, una vía de supervivencia y para atenuar el impacto de la crisis de los noventa era la búsqueda de alianzas con los centros de la biotecnología cubana, favorecidos en financiamiento por el rol que de ellos se esperaba en la economía nacional, proyección que el tiempo confirmó.

Por su parte el CIM, interesado en desarrollar proyectos novedosos de I+D, donde los conocimientos sobre proteínas son clave, y conocedor de las potencialidades del CEP en ese campo, decidió fortalecer sus nexos con el CEP para construir canales de tipo bidireccional² (Arza, 2010).

Del lado del CEP existió, sin duda, un interés por captar recursos que les permitieran seguir desarrollando las investigaciones. Pero lo motivó mucho también el conocimiento de la profesionalidad de sus colegas del CIM, en cuyos procesos de formación en algunos casos había participado.

Al CIM le interesaba una alianza de largo plazo y el conocimiento de los investigadores del CEP le dio la confianza necesaria para fortalecer los nexos. El CIM siempre ha tenido la convicción de que la creación de un ambiente científico es una condición necesaria para construir la capacidad innovadora en una empresa de alta tecnología. El vínculo academia-industria contribuye a este propó-

sito, y tiene además un impacto en la formación académica de los especialistas del CIM.

Un importante antecedente es que antes de la inauguración del CIM en diciembre de 1994, existía ya una colaboración entre el grupo de investigadores que lo fundó, pertenecientes al Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR), y la Facultad de Biología de la UH. Esta colaboración entre los investigadores del CEP y el CIM permitió la solicitud una patente europea en fecha tan temprana como 1997 (Vázquez *et al.*, 1997).

Un tema de actualidad es la llamada responsabilidad social de la empresa (Navarro, 2012), en general asociada al impacto ambiental y social de ella en la comunidad en que se inserta. Con la experiencia del CIM, es posible postular una ampliación del concepto de responsabilidad social para las empresas biofarmacéuticas, basada en el principio de la vocación social compartida, ya que el éxito de las empresas biofarmacéuticas pasa por la creación de redes de colaboración extramural con instituciones generadoras de conocimientos, como las universidades, pero también con instituciones que utilizan el conocimiento, en este caso traducido a un producto biofarmacéutico, como los hospitales del sistema nacional de salud. La empresa debe promover activamente el desarrollo de dichas redes de colaboración extramural, en una doble función de agente y cliente, lo que valida y extiende el concepto de canal bidireccional a un modelo de cooperación triangular academia-industria-sistema de salud.

La literatura mencionada asume que el canal bidireccional se logra cuando los beneficios intelectuales de los centros de investigación se enlazan con firmas que persiguen beneficios de largo plazo. En nuestro objeto de estudio se observa que los intereses económicos e intelectuales (del lado de los centros de investigación) pueden marchar juntos y que del lado de las firmas, cuando estas poseen fuertes equipos de investigadores (en el sector de la biotecnología es frecuente que existan), también puede haber motivaciones intelectuales, aunque inscritas en proyectos que persiguen fines aplicados. La realización conjunta de publicaciones científicas lo demuestra. Hablamos de fines aplicados, no solo económicos, porque el impacto en el sistema de salud, y no solo la competitividad y la ganancia, es una motivación central en el desarrollo de sus proyectos.

Sin duda, el gran espíritu de superación de ambos colectivos funcionó como una fuente de motivación para ambos. Ambos tenían razones para pensar que las interacciones (Lundvall, 1988) entre ellos podían generar aprendizajes para ambos colectivos y podían abrir nuevas avenidas a la investigación, a la solución de problemas de salud y a los avances económicos que el país necesita.

Esta articulación bidireccional se apoya en los siguientes mecanismos:

- La incorporación de proyectos del CEP de relevancia para el CIM en la carpeta de proyectos de este último. Este es el caso, por ejemplo, de la combinación de la tecnología de liposomas y la toxina altamente citolítica aislada y caracterizada ampliamente por CEP como herramienta para modular la respuesta inmune o como agente transportador de ácidos nucleicos para terapia génica.
- El desarrollo de programas de maestría y de doctorado concebidos con una visión conjunta que tiene en cuenta las necesidades del sector de la biotecnología. La Maestría en Bioquímica de la Universidad de La Habana tiene una mención de Inmunología coordinada conjuntamente por el CIM y el claustro de la Universidad. La mayor parte de su profesorado proviene del CIM. Además, el CIM es uno de los centros que participan en el programa de Doctorado en Biociencias Moleculares, liderado por la Universidad de La Habana.
- La inserción de los investigadores del sector productivo como docentes en disciplinas universitarias. Por ejemplo, investigadores del CIM, del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), entre otros, han diseñado asignaturas optativas de bioquímica y biología molecular para estudiantes de pregrado, e inclusive han participado en la enseñanza de otras asignaturas del plan de estudios.
- Diseño conjunto de asignaturas de posgrado. El CIM funciona como «unidad docente»¹⁴ de la Facultad de Biología, con sus implicaciones en el tercer nivel educativo.

¹⁴ Unidad docente es una organización o espacio no universitario donde los estudiantes desarrollan prácticas preprofesionales para adquirir habilidades propias del campo de actuación del área del saben en la que se preparan.

- La co-supervisión de tesis académicas con la participación de investigadores de ambas instituciones.
- La participación conjunta en proyectos y redes de carácter nacional e internacional.
- Los laboratorios e instalaciones del CIM son cruciales para llevar a cabo los proyectos de investigación del CEP, que van desde problemas científicos básicos a los más centrados en nuevos productos o plataformas tecnológicas de interés mutuo. Esto es, por ejemplo, el uso de las toxinas formadoras de poros del CEP utilizadas de diferentes maneras para explorar posibles plataformas para el desarrollo de productos.
- Publicaciones y patentes conjuntas. Como fruto de la madurez de esta relación, en 2014 apareció una segunda patente en colaboración, pero en este caso la autoría principal radica en los especialistas de la Universidad de La Habana (Lanio *et al.*, 2014).
- Organización de talleres científicos para dar seguimiento a los proyectos científicos actuales o más prometedores.
- La representación de especialistas de ambas instituciones en el consejo científico de la otra.

Los beneficios obtenidos son diversos. El CEP fortaleció su capacidad de investigación al disponer de recursos imprescindibles; la enseñanza de grado y posgrado de la Universidad se benefició mediante el contacto con profesionales del CIM de alta calificación e incorporó a sus programas problemas propios de la industria biotecnológica. El CIM se benefició de los programas de formación de la Universidad para calificar a su personal; se nutrió de las redes internacionales en las cuales participa el CEP e incorporó a sus proyectos estudiantes de pregrado y posgrado.

De estos resultados podemos concluir que el CEP y el CIM han trabajado de conjunto en la creación de conocimiento, pero no en la captura del valor creado por dicho conocimiento, lo que nos lleva al problema de la sostenibilidad financiera de la colaboración.

Es necesario que la colaboración universidad-empresa se enfoque en la innovación, y constituya un mecanismo de inyectar recursos financieros a la Universidad. La solución de este problema tiene dos componentes:

- La creación de nuevos activos intangibles, fundamentalmente patentes.

- La capitalización de dichos activos intangibles mediante la negociación de acuerdos que permitan su realización comercial.

Se trata entonces de innovar en cómo debemos organizar y administrar el proceso de innovación en la interacción universidad-empresa.¹⁵ El CEP y el CIM están emprendiendo nuevas acciones en esta dirección:

- La creación de un laboratorio universitario en las áreas de investigaciones del CIM. Esta pudiera ser una solución estructural para lograr el carácter innovador de los proyectos, la protección de la propiedad intelectual, el cumplimiento de las normas de calidad y la logística. Sin embargo, el capital humano constituye la limitación fundamental; tanto el reacomodo de la carga docente como la estimulación salarial de los profesores requieren de soluciones creativas. Ya se ha firmado el acuerdo para la creación de dicho laboratorio y se trabaja en la implementación del mismo.
- La capitalización y negociación de activos intangibles a partir de la propiedad intelectual conjunta generada. La carpeta de proyectos del CIM para la promoción de negocios contiene un proyecto con el CEP de la Facultad de Biología, que posee propiedad intelectual conjunta. Este proyecto se ha convertido en un modelo para el desarrollo de negocios que generen un flujo financiero a la Universidad.

En resumen, estamos necesitados de una transformación sustancial en la interacción universidad-empresa, que se concentre no solo en la creación de conocimiento sino también en la captura del valor creado por dicho conocimiento.

En la literatura sobre los vínculos universidad-sector productivo, se alude también a los obstáculos y a los riesgos. El principal obstáculo se deriva de fragilidades propias de las políticas de innovación en Cuba, que limitan la transferencia directa de recursos de las empresas a las universidades y no permiten que los colectivos universitarios

¹⁵ Este asunto fue muy debatido en el Taller Universidad-Industria que tuvo lugar en la UH en el contexto del Congreso Universidad 2016 (La Habana, 15 al 19 de febrero).

reciban el mismo tratamiento salarial de quienes están en la empresa. Estos últimos pueden aumentar considerablemente sus ingresos en dependencia de los resultados económicos de la empresa. No ocurre lo mismo con los investigadores universitarios, aun cuando hayan contribuido a esos resultados económicos. Todo eso es parte de la discusión que tiene lugar hoy en Cuba sobre PCTI. Por esta razón apuntamos el elemento de los valores compartidos y otros factores subjetivos como relevantes para el caso que nos ocupa.

Con relación a los riesgos (Arza, 2010), se mencionan algunos que pudieran presentarse en casos como el que nos ocupa. Se sugiere, por ejemplo, que en las investigaciones clínicas las interacciones pueden inducir a los investigadores a esconder o modificar resultados; el poder del mercado puede distraer la investigación hacia ciertos temas lucrativos y desatender otros que atiendan necesidades de mayorías. Se mencionan los costos de oportunidad cuando una investigación quita tiempo para investigar y enseñar o cuando la investigación abandonada para favorecer la interacción deja a un lado otro proyecto más prometedor. Finalmente, se menciona el riesgo de la privatización en forma de patentes, secretos, etc., que limita el acceso a información generada por instituciones públicas.

Interrogados sobre estos aspectos los actores involucrados en esta vinculación, consideran que los procedimientos establecidos permiten mitigar dichos riesgos. Por ejemplo, en el caso de las investigaciones clínicas, estas se realizan en colaboración con el Ministerio de Salud Pública, a través de un Centro Nacional de Coordinación de Ensayos Clínicos (CENCEC), con la supervisión de los Comités de Ética de la Investigación Clínica de cada Hospital que participa en el ensayo, el reporte obligatorio del ensayo clínico en una base de datos pública y la auditoría del Centro Estatal de Control de los Medicamentos (CECMED). Por otra parte, al existir un intercambio científico permanente entre el CEP y el CIM, así como publicaciones sometidas a arbitraje, la posibilidad de alterar resultados disminuye considerablemente.

Las patentes no son propiedad privada de los investigadores ni de la empresa; son propiedad del Estado cubano; los inventores reciben un certificado de autor pero son las instituciones las que tienen el derecho de explotación comercial de las patentes, por tanto, los ingresos que de ellas se derivan se distribuyen con un enfoque social, no privado. Por ejemplo, una buena parte de los ingresos que genera la biotecnología permite sostener el sistema de salud público y gratuito del país.

Los investigadores no estiman que se hayan presentado problemas de costo de oportunidad; de hecho la colaboración entre CEP y CIM ha estado alineada con los objetivos estratégicos de ambas instituciones, lo que se discute anualmente en los Consejos Científicos respectivos. Los resultados satisfactorios obtenidos no impidieron desarrollar otros proyectos, así como la labor docente del CEP. Del lado del CIM, estos peligros son mínimos porque tienen creado mecanismos para interrumpir oportunamente aquellas investigaciones que parecían inicialmente prometedoras y luego no rinden lo esperado.

Ya se mencionó que los proyectos no están solo orientados a fines económicos sino que también satisfacen necesidades del sistema cubano de salud.

Los riesgos potenciales tienen que ver con la sostenibilidad a futuro de estos esfuerzos. Los actores actualmente implicados en esta relación muestran una gran motivación por fortalecer los vínculos y los contextos institucionales apoyan parcialmente ese interés. Es previsible que en los próximos años las personas que hoy participan abandonen sus posiciones como parte del cambio generacional natural. También puede ocurrir que los contextos institucionales se transformen y se debilite el interés que hoy se aprecia.

En Cuba están en proceso de transformación las regulaciones legales que norman el funcionamiento de las empresas e incluso se trabaja en la posibilidad de regulaciones específicas para empresas de alta tecnología. Seguramente el futuro dependerá también de tales regulaciones en proceso de formulación y aprobación. Por otra parte, se aprecian avances en el proceso de internalización de la actividad de innovación en las universidades del país mediante parques tecnológicos u otras fórmulas. En el presente se confía que los cambios que están ocurriendo crearán mejores oportunidades a la vinculación universidad-industria. Las experiencias concretas de la colaboración CEP-CIM pudieran contribuir a las experiencias que nutren el proceso de actualización del modelo económico cubano.

En resumen, motivaciones y canales, con las particularidades apuntadas, han contribuido a la obtención de adecuados beneficios. Los riesgos apuntados son más bien potenciales, mientras que los obstáculos no han impedido el vínculo, aunque es presumible que en ausencia de ellos, los resultados podrían ser mayores. A juicio de los actores ha sido una buena vinculación. Los resultados alcanzados y la firmeza de la alianza que han construido, lo confirman.

Conclusiones

Desde el punto de vista de la construcción de PCTI en Cuba y del papel que ellas atribuyen a las universidades, asunto no siempre bien resuelto, este estudio pone de manifiesto las potencialidades de las universidades dentro de los sistemas de innovación mediante su articulación estrecha con empresas del sector productivo.

El estudio presentado muestra también la necesidad de sustituir el modelo lineal de innovación por una visión más interactiva y sistémica. La muy socorrida fórmula de «introducción de resultados» que ha figurado en anteriores formulaciones de política en Cuba se muestra inferior a la riqueza de formas de interacción y canales que en el caso estudiado van definiendo las rutas del intercambio universidad-empresa.

La referencia a los riesgos que amenazan la vinculación estudiada permite comprender la necesidad de que el modelo económico que desde el Estado se viene construyendo permita a la universidad y a los investigadores acceder a los beneficios económicos que resulten del desempeño conjunto.

El caso muestra también que las funciones de la universidad pueden complementarse y enriquecerse recíprocamente. Por ejemplo, la enseñanza de grado y posgrado se enriquece cuando se articula dentro de un proceso como el descrito aquí.

El estudio permite repensar la concepción bastante promovida por la ideología neoliberal, según la cual la empresa estatal (en nuestro caso, empresa estatal socialista) es inevitablemente ineficiente e ineficaz. De ningún modo la experiencia estudiada confirma semejante idea. De modo resumido se expusieron los argumentos que permiten hablar de un desempeño empresarial exitoso en términos económicos y sobre todo sociales. El carácter público del CIM le permite atender necesidades del sistema de salud cubano fortaleciendo su naturaleza incluyente.

El compromiso con objetivos sociales, la motivación y los valores, individuales e institucionales, compartidos por la universidad y el sector productivo, son un elemento fundamental. Es frecuente que en los discursos sobre política que emiten los organismos gubernamentales de los diversos países se asuma una concepción de ciencia como un medio para el logro de otros objetivos y no como un fin en sí misma. En algunos casos se subraya su papel de medio para alcanzar competitividad y desarrollo económico; en otros, se enfatiza su importancia para el desarrollo y la inclusión social.

Sin embargo, aunque al interior de las comunidades académicas, existen distintas concepciones de ciencia, la idea hegemónica es con frecuencia la idea de la ciencia como un fin en sí misma. En Cuba, fruto de las circunstancias económicas y políticas en las cuales se han formado esas comunidades académicas, el ideal de la ciencia como fuerza encargada de contribuir a la transformación de la sociedad y de generar beneficios económicos y sociales goza de una aceptación bastante extendida.

El ethos científico en Cuba incluye valores propios de la cultura científica más universal pero incorpora valores orientados al servicio público y a la consagración que ello reclama. Esto es especialmente claro en las comunidades vinculadas a los servicios de salud, como las atendidas en este documento.

De igual modo, la idea de calidad universitaria, instalada en los sistemas de evaluación de instituciones, programas y profesores, es también peculiar pues asume que la excelencia académica debe combinarse con la relevancia y el impacto económico y social. Según esto, se planifica la vida universitaria y se crean arreglos institucionales que posibilitan la concentración en objetivos priorizados y la búsqueda intencionada de beneficios sociales y económicos, a la par que salidas académicas (publicaciones, doctorados, etc.) del mejor nivel posible.

La idea de «sistemas universitarios desarrolladores» y el sistema de valores que le es propio, al cual nos referimos en el primer segmento del trabajo, parece adecuarse bastante a las prácticas más extendidas en Cuba.

Bibliografía

- ALBORNOZ, M.; LÓPEZ CEREZO, J. A. (eds.) (2010): *Ciencia, tecnología y universidad en Iberoamérica*, OEI/Eudeba, Buenos Aires.
- AROCENA, R.; SUTZ, J. (2003): *Subdesarrollo e innovación: Navegando contra el viento*, Cambridge University Press y Organización de Estados Iberoamericanos (OEI), Madrid.
- ARZA, V. (2010): «Channels, benefits and risks of public-private interactions for knowledge transfer: conceptual framework inspired in Latin America», *Science and Public Policy*, vol. 37, n.º 7, pp. 473-484.
- BEKKERS, R; BODAS FREITAS, I. M. (2008): *Analysing knowledge transfer channels between universities and industry: to what degree do sectors also matter?*, *Research Policy*, vol. 37, n.º 10, pp. 1837-1853.

- BLANCO, F. (ed.) (2013): *La ciencia universitaria en el contexto de la actualización del modelo económico cubano*, Cátedra CTS+I, UH/Editorial Félix Varela, La Habana.
- BORTAGARAY, I.; ORDÓÑEZ-MATAMOROS, G. (2012): «Innovation, innovation policy and social inclusion in developing countries», *Review of Policy Research*, vol. 29, n.º 669.
- BRUNDENIUS, C.; LUNDVALL, B.-Å.; SUTZ, J. (2009): «The role of the universities in innovation systems in developing countries: developmental university systems-empirical, analytical and normative perspectives», en Bengt-Åke Lundvall, K. J. Joseph, Cristina Chaminade y Jan Vang (eds.), *Handbook of innovation systems and developing countries. Building domestic capabilities in a global setting*, Published by Edward Elgar, Cheltenham, UK/Northampton, Massachusetts, USA, ISBN 978-1-84720-60-9, pp. 311-333.
- CASAS, R. (ed.) (2001): *La formación de redes de conocimiento. Una perspectiva regional desde México*, IIS-UNAM/ANTHROPOS, Barcelona.
- CASSIOLATO, J.; LASTRES, H. (2013): *Sistema Nacional de Innovación de Brasil: Desafíos para la sostenibilidad y el desarrollo incluyente*, en G. Dutrénit y J. Sutz (eds.), *Sistemas de innovación para un desarrollo inclusivo. La experiencia latinoamericana*, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC; LALICS, México, ISBN 978-607-9217-28-0, pp. 65-95.
- CASTRO, F. (1991): «Discurso de Clausura del VI Fórum de Piezas de Repuesto, Equipos y Tecnologías de Avanzada», <<http://www.cuba.cu/gobierno/discursos/1991/>> [23/6/2015].
- Ciência & Tecnologia Social. A construção crítica da tecnologia pelos atores sociais*, vol. 1, n.º 1, jullho.
- DUTRÉNIT, G. (2010): «Introduction to special issue: Interactions between public research organizations and industry in Latin America: a study on channels and benefits from the perspectives of firms and researchers», *Science and Public Policy*, vol. 37, n.º 7, pp. 471-472.
- DUTRÉNIT, G.; ARZA, V. (2010): «Channels and benefits of interactions between public research organizations and industry: comparing four Latin American countries», *Science and Public Policy*, vol. 37, n.º 7, pp. 541-553.
- DUTRÉNIT, G.; SUTZ, J. (eds.) (2013): *Sistemas de innovación para un desarrollo inclusivo. La experiencia latinoamericana*, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC, LALICS, México, ISBN 978-607-9217-28-0.
- ETZKOWITZ, H. (2004): «The evolution of the entrepreneurial university», *International Journal of Technology and Innovation*, vol. 1, n.º 1, pp. 64-77.

- ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. (1997): *University and the global knowledge economy. A Triple Helix of university-industry-Government relations*, Printer Publishers, London.
- ETZKOWITZ H.; LEYDESDORFF, L. (2000): «The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university-industry-Government Relations», *Research Policy*, vol. 29, n.º 2, pp. 109-123.
- GIBBONS, M.; LIMOGES, C.; NOWOTNY, H.; SCHWARTZMAN, S.; SCOTT, P.; TROW, M. (1994): *The new production of knowledge. The dynamics of science and research contemporary societies*, Sage Publications LTD, London.
- HERRERA, L. (2008): «El camino hacia el éxito está lleno de fracasos. Entrevista concedida a Enrique Ubieta», *La Calle del Medio*, n.º 5, Prensa Latina, La Habana, noviembre.
- JOHNSON, B.; ANDERSEN, A. D. (ed.) (2012): *Learning, innovation and inclusive development: New perspectives on economic development strategy and development*, Aalborg University Press, Denmark.
- KAISER, J. (1998): «Cuba’s Billion-Dollar Biotech Gamble», *Science*, n.º 282, nov., pp. 1626-1628.
- LAGE, A. (1994): «Biotechnology: Offering new opportunities for developing countries», *Biopharm*, vol. 7, n.º 5, pp. 18-19.
- LAGE, A. (1999): «Las biotecnologías y la nueva economía: crear y valorizar los bienes intangibles», <http://www.nodo50.org/cubasigloXXI/economia/lage1_310502.htm> [23/6/2015].
- LAGE, A. (2006): «La economía del conocimiento y el socialismo: ¿hay una oportunidad para el desarrollo?», <<http://www.cubasocialista.cu/cs41/cseconomia.html>> [12/3/2015].
- LAGE, A. (2008): Connecting immunology research to public health: Cuban biotechnology, *NatImmunol*, vol. 9, n.º 2, pp. 109-120.
- LAGE, A. (2013): *La economía del conocimiento y el socialismo*, Editorial Academia, La Habana.
- LANIO, M. E.; FERNÁNDEZ, L. E.; SÁNCHEZ, O.; LABORDE, R.; LUZARDO, M. C.; CRUZ, Y.; MESA, C.; TEJUCA, M.; PAZOS, F.; VALLE, A.; CANET, L.; ÁLVAREZ, C.; ALONSO, M. E. (2014): «Vaccine Composition Based on Sticholys in Encapsulated Into Liposomes», US Patent 8.697.093 B2, 15 April.
- LIMONTA, M. (2002): «Historia exitosa de una visión de futuro: la biotecnología médica en Cuba», <<http://www.catedradh.unesco.unam.mx/catedradh2007/SeguridadHumana/prospectiva%206/revista>> [14/5/2015].
- LÓPEZ MOLA, E.; SILVA, R.; ACEVEDO, B.; BUXADÓ, J. A.; AGUILERA, A.; HERRERA, L. (2006): «Biotechnology in Cuba: 20 years of scientific, social

- and economic progress», *Journal of Commercial Biotechnology*, vol. 13, n.º 1, pp. 1-11.
- LÓPEZ MOLA, E.; SILVA, R.; ACEVEDO, B.; BUXADÓ, J. A.; AGUILERA, A.; HERRERA, L. (2007): «Taking stock of Cuban biotech», *Nature Biotechnology*, vol. 25, n.º 11, pp. 1215-1216.
- LUNDVALL, B.-Å (1988): «Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation», en G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, L. Soete (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, London, pp. 349-369.
- LUNDVALL, B.-Å (2007): «Innovation system research: where it came from and where it might go», Globelics Working Papers, n.º 2007-01, <<http://www.globelics.org>> [4/6/2015].
- LUNDVALL, B.-Å.; VANG, J.; JOSEPH, K. J.; CHAMINADE, C. (2009): «Innovation System Research and Developing Countries», en Bengt-Åke Lundvall, K. J. Joseph, Cristina Chaminade y Jan Vang (eds.), *Handbook of innovation systems and developing countries. Building domestic capabilities in a global setting*, Published by Edward Elgar, Cheltenham, UK/Northampton, Massachusetts, USA, ISBN 978-184-720-60-9.
- MAJOLI, M. (2002): *Ciencia y desarrollo en Cuba: aspectos del desarrollo científico y tecnológico cubano*, FLACSO, La Habana.
- MINISTERIO DE JUSTICIA DE CUBA (2012). *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, n.º 052 Extraordinario, 7 de diciembre.
- NAVARRO, F. (2012): *Responsabilidad social corporativa: teoría y práctica*, ESIC, Madrid.
- NÚÑEZ, J. (2010): *Conocimiento académico y sociedad. Ensayos sobre política universitaria de investigación y posgrado*, Editorial UH, La Habana.
- NÚÑEZ, J. (coord.) (2014): *Universidad, innovación, conocimiento y desarrollo local*, Editorial Félix Varela, La Habana, ISBN 978-959-07-1927-1.
- NÚÑEZ, J.; ARMAS, I.; ALCÁZAR, A.; FIGUEROA, G. (2013): «Educación superior, innovación y desarrollo local: experiencias en Cuba», en J. Sutz, G. Dutrénit, *Sistemas de innovación para un desarrollo inclusivo: la experiencia latinoamericana*, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C., México, ISBN 978-607-9217-28-0.
- NÚÑEZ, J.; FIGUEROA, G. (2014): «Biotecnología y sociedad en Cuba: el caso del Centro de Inmunología Molecular», *Trilogía*, n.º 10, pp. 11-24.
- NÚÑEZ, J.; MONTALVO, L. (2014): «Science, technology, and innovation policies and the Innovation System in Cuba: Assessment and prospects, *No More Free Lunch*», en C. Brundenius, R. Torres Pérez (eds.),

- Reflections on the Cuban Economic Reform Process and Challenges for Transformation*, Springer, Switzerland.
- NÚÑEZ, J.; MONTALVO, L.; PÉREZ, I.; FERNÁNDEZ, A.; GARCÍA, J. L. (2011a): «Cuba: University, innovation and society: higher education in the National System of Innovation», en B. Göransson, C. Brundenius (eds.), *Universities in transition. The changing role and challenges for academic's institutions*, Springer, International Development Centre, Ottawa, ISBN 978-1-4419-7509-6, pp. 97-118.
- NÚÑEZ, J.; PÉREZ, I.; MONTALVO, L. (2011b): «Biotechnology, university and scientific and technological policy in Cuba: A look at progress and challenges», en B. Göransson, C. M. Pålsson (eds.), *Biotechnology and Innovation Systems. The Role of Public Policy*, International Development Research Centre, Ottawa, ISBN 978-1-55250-538-0.
- OEI (2012): *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo y la cohesión social. Programa iberoamericano en la década de los bicentenarios*, <<http://www.oei.es/documentocienciapdf>> [14/12/2015].
- PÉREZ, I.; NÚÑEZ, J. (2009): «Higher education and socioeconomic development in Cuba: high rewards of a risky high-tech strategy», *Science and Public Policy*, vol. 36, n.º 2, DOI: 10.3152/030234209X413900.
- PÉREZ, R. (2008): «Inmunoterapia. Artillería anticáncer. Entrevista», *Bohemia*, año 100, n.º 26, La Habana, diciembre.
- PERKMANN, M.; WALSH, K. (2007): «University-industry relationships and open innovation: towards a research international agenda», *Journal of Management Reviews*, vol. 9, n.º 4, pp. 259-280.
- RODRÍGUEZ, C. (1997): «Universidad de La Habana: investigación científica y período especial», *Revista Cubana de Educación Superior*, vol. XVII, n.º 3, CEPES, La Habana, pp. 13-16.
- SÁBATO, J.; MACKENZIE, M. (1982): *La producción de tecnología autónoma o transnacional*, Editorial Nueva Imagen, México.
- SANTELICES, B. (ed.-coord.) (2010): *El rol de las universidades en el desarrollo científico y tecnológico. Educación superior en Iberoamérica. Informe 2010*, Centro Interuniversitario de Desarrollo (CINDA)/Universia, Chile, ISBN 978-956-7106-55-4.
- SCHWARTZMAN, S. (ed.) (2008): *Universidad y desarrollo en Latinoamérica: experiencias exitosas de centros de investigación*, IESALC, Caracas.
- STOKES, D. (1997): *Pasteur's quadrant: basic science and technological innovation*, The Brookings Institution Press, Washington D. C.
- SUTZ, J. (2010): «Ciencia, tecnología, innovación e inclusión social: una agenda urgente para universidades y políticas», *Psicología, Conocimiento*

- y *Sociedad. Revista de la Facultad de Psicología*, año 2010, n.º 01, Universidad de La República, Uruguay.
- THOMAS, H. (2008): «Estructuras cerradas vs. procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico», en H. Thomas, A. Buch (coords.), *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires, pp. 217-262.
- THOMAS, H. (2011): «Tecnologías sociales y ciudadanía socio-técnica. Notas para la construcción de la matriz material de un futuro viable», *Revista do Observatório do Movimento pela Tecnologia Social da América Latina*, vol. 1, n.º 1, <<http://www.periodicos.unp.br/index.php/cts/article/viewFile/3838/3295>> [23/5/2016].
- VÁZQUEZ, A. M. *et al.* (1997): «Anti-ganglioside monoclonal antibodies, anti-idio type monoclonal antibodies and their use in specific active immunotherapy of malignant tumors», European Patent 109.12.93/CU 11443F 1048 (03.94), Receiving section 70030006 n.º 22 500, Cuba.

